

D4



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 05 761 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 21 C 17/07**  
G 21 C 17/04

②1 Aktenzeichen: 199 05 761.3  
②2 Anmeldetag: 11. 2. 1999  
④3 Offenlegungstag: 31. 8. 2000

DE 199 05 761 A 1

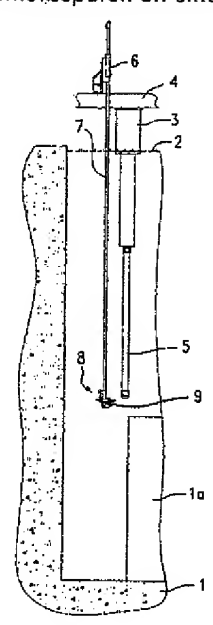
<p>⑦1 Anmelder: Siemens AG, 80333 München, DE</p>	<p>⑦2 Erfinder: Knecht, Klaus, Dipl.-Ing. (FH), 91058 Erlangen, DE; Hummel, Wolfgang, Dipl.-Ing. (FH), 91085 Weisendorf, DE; Michna, Jürgen, 91058 Erlangen, DE</p> <p>⑤0 Entgegenhaltungen:</p> <table> <tr> <td>DD</td> <td>2 40 970 A1</td> </tr> <tr> <td>DD</td> <td>2 40 969 A1</td> </tr> <tr> <td>DD</td> <td>2 40 968 A1</td> </tr> </table>	DD	2 40 970 A1	DD	2 40 969 A1	DD	2 40 968 A1
DD	2 40 970 A1						
DD	2 40 969 A1						
DD	2 40 968 A1						

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Werkzeug und Verfahren zur Untersuchung von Verschleißspuren an einem Kernreaktor-Bauteil

⑤7 Mittels eines Abformgefäßes und einer aushärtbaren Masse (insbesondere Vinyl-Polysiloxan) wird fernbedient ein Abdruck von Verschleißspuren auf der Oberfläche eines Kernreaktor-Bauteils genommen, der anschließend mikroskopisch untersucht wird. Das entsprechende Werkzeug (9) ist an ein Inspektionssystem (6) angekuppelt, um den Abdruck bereits im Wasserbecken des Kernreaktors unter Wasser abzunehmen.



DE 199 05 761 A 1

## Beschreibung

Für eine optimale Auslegung und Konstruktion des Kerns eines Kernreaktors, insbesondere für dessen hydraulisches Verhalten, sind genaue Kenntnisse des Schwingungsverhaltens der Brennelemente, insbesondere der Brennstäbe, und der Reibungsvorgänge zwischen den Brennstäben und deren Abstandhaltern, zwischen benachbarten Brennelementen und/oder an anderen Kernbauteilen (z. B. Steuerstäbe, Führungsrohre, Wände der Druckgefäße) wünschenswert. Solche Kenntnisse können aus Verschleißspuren an diesen Bauteilen gewonnen werden.

Bisher wurden solche Verschleißspuren durch eine visuelle Inspektion z. B. Videoaufnahmen und deren Auswertung gewonnen. Außerdem werden häufig entsprechende Teilstücke, insbesondere Teile von Abstandhaltern, herausgetrennt und anschließend in sogenannten "heißen Zellen" analysiert. Darüber hinaus sind auch bereits Abdrücke solcher Teile mittels eines Zweikomponenten-Silikonkautschuks genommen worden, die anschließend analysiert und vermessen wurden.

Mit diesen Methoden ist aber die Feinstruktur dieser Verschleißspuren nur mit einer Auflösung von höchstens  $10^{-1}$  mm möglich. Daher war die Aussagekraft bei solchen Untersuchungen nur beschränkt. Außerdem sind derartige Untersuchungen mit einem hohen Aufwand verbunden, der systematische Reihenuntersuchungen behindert.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Werkzeug und ein Verfahren anzugeben, mit dem auf einfache Weise aussagekräftige Reihenuntersuchungen vorgenommen werden können.

Die Erfindung sieht ein Werkzeug mit einem Montagerahmen vor, der über ein Kupplungsglied an einen mechanischen Träger angekuppelt werden kann, insbesondere an eine Inspektionsplattform eines Inspektionssystems in einem Wasserbecken des Kernkraftwerks. Diese Kupplung erfolgt bevorzugt über eine Positioniereinrichtung, die fernbedienbar ist, um den Montagerahmen in der Nähe des betreffenden Bauteils im Wasserbecken zu positionieren, z. B. ein in der Höhe verfahrbarer Tisch mit einem Antrieb in beiden horizontalen Richtungen. Zusätzlich kann auch noch eine Schwenkeinrichtung in horizontaler und/oder vertikaler Richtung vorgesehen sein, um den Montagerahmen schräg zu stellen.

Ferner enthält das erfindungsgemäße Werkzeug eine vom Montagerahmen getragene Halterung für eine Kartusche mit einer Kanüle sowie eine ebenfalls am Montagerahmen angebrachte Ausdrückeinrichtung, mit der der Inhalt der Kartusche, ein aushärtbares Material, aus der Kartusche und der Kanüle herausgedrückt werden kann. Diese Halterung und vorzugsweise auch die Ausdrückeinrichtung ist insbesondere auf dem Montagerahmen schwenkbar und arretierbar angeordnet. Vorteilhaft ist auch eine mechanische Führung für die Kanüle vorgesehen, wobei die gegenseitige Position dieser Führung für die Kanüle, der Halterung für die Kartusche und der Ausdrückeinrichtung vorzugsweise verstellbar ist, um diese Elemente den jeweiligen Maßen der aktuell verwendeten Kartusche und Kanüle anzupassen.

Zur Ausdrückeinrichtung führt eine Betätigungsleitung, um die Ausdrückeinrichtung von Ferne betätigen zu können, vorzugsweise in einem Abstand von mindestens 10 m. Eine solche Fernbetätigung kann mechanisch erfolgen, z. B. mittels eines Bowdenzugs, der vorzugsweise in einem Knickschutz-Rohr geführt ist, z. B. einem metallischen Wellrohr oder einem steifen Rohr, das zumindest im Bereich des Montagerahmens gekrümmt ist.

Schließlich ist an der Führung für die Kanüle und/oder am Montagerahmen ein Abformgefäß befestigt, das mit einer

auf die betreffende, die Verschleißspuren tragende Oberfläche des Bauteils aufsetzbar ist und einen an die Kanüle der Kartusche anschließbaren Einführkanal für das aushärtbare Material der Kartusche aufweist. Vorzugsweise weist das Abformgefäß auch einen Ausflußkanal für überschüssiges aushärtbares Material auf. Die Öffnung des Abformgefäßes hat bevorzugt einen hinterschnittenen Rand. Insbesondere ist es vorteilhaft, wenn das Abformgefäß auswechselbar ist, so daß verschiedene, der jeweiligen Oberflächenform angepaßte Abformgefäße eingesetzt werden können.

Als eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung ist am Montagerahmen – oder an der erwähnten Positioniereinrichtung, mit dem der Rahmen z. B. an die Inspektionsebene des Inspektionssystems gekuppelt ist – eine Fernsehkamera für Unterwasseraufnahmen angeordnet, die zumindest auf das Abformgefäß ausrichtbar ist, um die Position des Ausformgefäßes an der Oberfläche des Bauteils zu kontrollieren. Insbesondere kann diese Fernsehkamera auf den erwähnten Ausflußkanal des Abformgefäßes fokussiert sein, um das Ausdrücken des aushärtbaren Materials aus der Kartusche zu beenden, sobald überflüssiges Material durch den Ausflußkanal austritt.

Dabei ist eine wasserdichte Beleuchtungseinrichtung für das Abformgefäß vorteilhaft.

Dieses Werkzeug wird also insbesondere in Verbindung mit einem Inspektionssystem verwendet, das als Serviceeinrichtung für die Unterwasser-Inspektion von Brennelementen in Kernreaktoren häufig vorhanden ist. Ein derartiges Inspektionssystem ist in der Regel mit einer Brennelementlademaschine kombiniert, die während der Inspektion das entsprechende Brennelement hält.

Die Erfindung sieht also vor, die Verschleißspuren an einem Kernreaktor-Bauteil, insbesondere einem Teil eines Brennelements, dadurch zu inspizieren, daß fernbedient ein Abformgefäß auf die Oberfläche aufgesetzt und mittels einer in das Abformgefäß eingedrückten Masse ein Abdruck der entsprechenden Oberfläche genommen wird. Dann wird die Abformmasse ausgehärtet und anschließend das Abformgefäß von der Oberfläche entfernt und der Abdruck aus dem Abformgefäß entnommen. Abschließend wird der Abdruck mittels eines Mikroskops untersucht, insbesondere mittels eines Elektronenmikroskops, z. B. eines Rasterelektronenmikroskops.

Dabei wird soviel Abformmasse aus der Kartusche in das Abformgerät gedrückt, bis ein überschüssiger Teil dieser Masse aus einem Ausflußkanal des Abformgeräts austritt. Vorteilhaft wird dieser Vorgang beleuchtet und mittels einer Fernsehkamera beobachtet.

Anhand von drei Figuren wird ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 die Anordnung eines Inspektionssystems mit dem erfindungsgemäßen Werkzeug in Kombination mit einer Brennelementlademaschine im Brennelementlagerbecken eines Kernkraftwerks,

Fig. 2 das Werkzeug im Einsatz am Abstandhalter eines Brennelements, und

Fig. 3 einen Ausschnitt mit dem Abformgefäß aus Fig. 2.

In Fig. 1 ist ein Teil einer Wand und des Bodens 1 des Brennelementlagerbeckens gezeigt, auf dem mindestens etwa 10 m unter dem Wasserspiegel 2 – die Brennelementlagergestelle 1a angeordnet sind, in denen während der regelmäßigen Betriebspausen des Kernkraftwerks die zu inspizierenden und im Kern umzusetzenden Brennstäbe zwischengelagert werden. Hierzu dient eine Brennelementlademaschine 3, die an einer Montagebrücke 4 verfahrbar ist. Am Teleskopmast der Brennelementlademaschine 3 hängt ein Brennelement 5, das seitlich für eine Inspektion zugäng-

lich ist

Ebenfalls an der Montagebrücke 4 befindet sich ein Inspektionssystem 6 mit einem ausgefahrenen Arm 7, der an einem Ende einen Träger 8 mit einer Positioniereinrichtung aufweist, die mittels geeigneter, ferngesteuerter Antriebe mindestens in horizontaler Richtung vorteilhaft in alle Richtungen des Raumes verfahren werden kann.

Nach Fig. 2 ist in einer Inspektionsplattform an einem Arm 10 mit einer mechanischen Kupplung 10a der Positioniereinrichtung ein Montagerahmen 11 angeschraubt, der in diesem Fall im wesentlichen aus einer Platte 11 besteht. Ein fernbetätigbarer Antrieb 10b zum Verschieben des Montagerahmens (Halteplatte 11) ist in Fig. 1 nur schematisch dargestellt. Solche Inspektionsplattformen tragen häufig eine Unterwasser-Kamera, mit der die Einrichtungen und Vorgänge auf der Plattform beobachtet werden können. Wesentlich ist jedoch, daß am Montagerahmen 11 – unmittelbar oder über den Arm 10 der Positioniereinrichtung – eine Unterwasser-Fernsehkamera 13 tiefestigt ist, die zusammen mit einem Scheinwerfer 14, auf ein Abformgefäß 15 gerichtet ist, das über ein Vorderteil 16 des Montagerahmens auf die zu untersuchende Oberfläche des Bauteils aufgesetzt werden kann. Im Fall der Fig. 2 ist dieses Bauteil ein gitterförmiger Abstandhalter 17, durch dessen Maschen die Brennstäbe 18 eines Druckwasser-Brennelementes geführt sind.

An dem Montagerahmen 11 ist über einen schwenkbaren Arm 20 die Halterung 21 einer Kartusche 22 mit einer Kanüle 23 befestigt. Diese Halterung 21 trägt einen Hebel 24, der Teil einer Ausdrückeinrichtung ist. Solche Kartuschen mit einer entsprechenden Ausdrückeinrichtung sind dem Fachmann aus dem Alltag bekannt; z. B. wird im Baugewerbe, im Schreinerhandwerk, beim Fliesenlegen etc. Silikonkautschuk mit solchen Ausdrückeinrichtungen aus entsprechenden Kartuschen herausgedrückt, um Fugen abzudichten. Während bei solchen Ausdrückeinrichtungen der entsprechende Hebel 24 durch Druck von Hand betätigt wird, ist beim erfindungsgemäßen Werkzeug eine Fernbedienung vorgesehen, in diesem Fall ein Bowdenzug 26 mit einem zentralen, am Hebel 24 befestigten Betätigungsdraht 27, der in einem flexiblen Mantelrohr 28 geführt ist, wobei das Mantelrohr von einem feststehenden Lagerteil 29 der Ausdrückeinrichtung ausgeht.

Dieser Bowdenzug führt bis auf ein Bedienungspult auf der Montagebrücke 4 oder einer ähnlichen Ebene außerhalb des Lagerbeckens und ist daher entsprechend lang. Er ist mindestens im Bereich des Montagerahmens in einem gekrümmten Schutzrohr 30 geführt, das in diesem Fall starr ist und verhindert, daß am Bowdenzug ein Knick oder eine starke Krümmung auftreten kann, die die Betätigung der Ausdrückeinrichtung verhindern würde.

In Fig. 3 ist das auf der Platte 11 angebrachte vordere Teil 16 des Montagerahmens erkennbar, an dem in diesem Fall das Abformgefäß 15 direkt gehalten ist. Die Halterung der Kanüle 23 an diesem vorderen Teil 16 erfolgt hier mittelbar, da die Kanüle 23 in einen entsprechenden Einführkanal 32 eingesteckt ist. Darüber hinaus kann die Kanüle auch noch direkt vom Vorderteil 16 bzw. der Platte 11 des Montagerahmens geführt sein, beispielsweise durch einen die Kanüle umgebenden Führungsring 33. Die Fig. 2 und 3 zeigen deutlich, daß die gegenseitige Position der Halterung 21, des Abformgefäßes 15 und dieses Führungsrings 33 durch Schrauben und/oder Muttern 34 verändert und fixiert werden können, wobei die Halterung 21 der Kartusche 22 insbesondere schwenkbar ist.

Das Abformgefäß 32 besitzt einen ringförmigen Rand 35 mit einer Öffnung 36, die auf die zu untersuchende Oberfläche in diesem Fall den Abstandhalter 17, aufsetzbar ist. Der

Querschnitt des ringförmigen Randes 35 erweitert sich zum Inneren des Abformgefäßes 32, d. h. die Öffnung 36 besitzt einen Hinterschnitt 38. Ist der Innenraum des Abformgefäßes 32 also mit einer aushärtbaren Masse 40 gefüllt und diese Masse ausgehärtet, so wird durch diesen Hinterschnitt 38 die ausgehärtete Masse 40 mit dem Abdruck im Gefäß gehalten und beide Teile gemeinsam können problemlos abgenommen werden.

Ferner enthält das Abformgefäß 32 einen Ausflußkanal 41. Wird also die Masse 40 durch die Kanüle 23 in das Abformgefäß 32 gedrückt, so kann dieser Vorgang solange fortgesetzt werden, bis aus dem Ausflußkanal 41 überflüssige Masse austritt. Mittels der Fernsehkamera 13 kann auf diese Weise das Abnehmen des Abdrucks überwacht werden.

Dieses oder ein ähnliches Werkzeug wird also an einer Inspektionsebene des Inspektionssystems, das im Wasserbecken des Kernreaktors vorhanden ist, angekuppelt und das Inspektionssystem neben einer Brennelement-Lademaschine, die ein Brennelement hält, in Position gebracht. Durch Höhenverstellung der Inspektionsebene und/oder des Brennelements wird das Werkzeug an der zu untersuchenden Oberfläche positioniert und fernbedient wird mittels geeigneter Positioniermittel das Abformgefäß auf die Oberfläche aufgesetzt. Mittels einer in das Abformgefäß eingedrückten Masse wird ein Abdruck der Oberfläche abgenommen und die Abformmasse wird in dieser Position zunächst ausgehärtet, dann – nachdem das Abformgefäß von der Oberfläche abgesetzt und aus dem Wasserbecken herausgenommen wurde – aus dem Abformgefäß entfernt und mittels eines Mikroskops untersucht.

Als Abformmasse wird eine aushärtbare Einkomponentenmasse oder eine durch homogene Mischung verschiedener Komponenten gebildete Masse in der Kartusche verwendet. Für die Materialauswahl ist wichtig, daß beim Aushärten keine oder nur äußerst geringe Mengen von Stoffen in das Kühlwasser eingetragen werden, die in der radioaktiven Strahlung des Beckens selbst radioaktiv werden oder aggressiv sind und die Korrosion der im Wasserbecken befindlichen Teile fördern. Außerdem ist eine sehr gute Auflösung der Oberflächen-Feinstruktur nötig (besser als 2 µm).

Diese Anforderungen decken sich weitgehend mit Anforderungen, wie sie an Abformmassen in der Zahnmedizin gestellt werden. Insbesondere ist dort auch Vinyl-Polysiloxan vorgeschlagen, das sich für das erfindungsgemäße Verfahren besonders eignet. Der Schwund dieser Massen beim Aushärten sollte vorteilhaft weniger als 0,5% betragen und liegt bei Vinyl-Polysiloxan bei etwa 0,25%. Für die Aushärtung dieser Massen genügt eine Zeit von etwa 15 Minuten.

Durch das direkte Auftragen der Abformmasse auf die Verschleißspuren wird verhindert, daß sich die Oberfläche der Abformmasse verändert und eine Haut bildet, die das vollständige Anschmiegen der Abformmasse an die Feinstruktur der Verschleißspuren behindert, bevor die Abformmasse auf die Oberfläche aufgedrückt ist.

Diese Abformtechnik ist für verschiedenste Oberflächenstrukturen geeignet, z. B. flache Oberflächen an Abstandhaltern oder gerundete Oberflächen an Brennstäben. Für die verschiedenen Oberflächen ist gegebenenfalls nur ein Auswechseln des Abformgefäßes erforderlich, das der Geometrie der zu untersuchenden Oberfläche angepaßt ist.

Da diese Abformmassen in der Regel plastisch sind, kann der ausgehärtete Abdruck ohne Beschädigung des Abformgefäßes herausgelöst werden. Das Abformgefäß ist kostengünstig und läßt sich nach jeder Analyse weiterverwenden.

Dadurch ist es möglich, innerhalb sehr kurzer Zeit ohne großen Aufwand an Kosten und Arbeit Feinstrukturanalysen von Verschleißspuren an Bauteilen von Kernreaktoren, insbesondere Strukturteilen oder Brennstäben von Brennele-

menten, mit einer bisher nicht erreichten Genauigkeit abzunehmen. Dabei brauchen die entsprechenden Kernbauteile nicht entnommen zu werden. Die Anpassung an die Oberflächengeometrie dieser Teile ist dabei unproblematisch

#### Patentansprüche

- 1 Werkzeug für die Inspektion von Verschleißspuren an einem Kernreaktor-Bauteil mit
  - einem Montagerahmen (11) und einem Kuppelungsglied (10, 10a) zum Ankuppeln an einen Träger,
  - einer vom Montagerahmen (11) getragenen Halterung (21) für eine mit aushärtbarem Material (40) gefüllte Kartusche (22) mit einer Kanüle (23),
  - einer am Montagerahmen (11) angebrachten Ausdrückeinrichtung (24, 29) zum Ausdrücken des Inhalts der Kartusche
  - einer Betätigungsleitung (26) zur Fernbetätigung der Ausdrückeinrichtung, und
  - einem vom Montagerahmen (11) getragenen Abformgefäß (32), das mit einer Öffnung (36) auf die Oberfläche des Kernreaktor-Bauteils (17) aufsetzbar ist und einen an die Kanüle (23) anschließbaren Hinführkanal (37) aufweist.
- 2 Werkzeug nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Abformgefäß (32) einen Ausflußkanal (41) aufweist
- 3 Werkzeug nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch eine mindestens auf das Abformgefäß (32) gerichtete Fernsehkamera (13) für Unterwasser-Aufnahmen
- 4 Werkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet durch eine wasserdichte Beleuchtungseinrichtung (14) für das Abformgefäß.
- 5 Werkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet durch einen Bowdenzug (26) als Betätigungsleitung
- 6 Werkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch ein Knickschutz-Rohr (30), in dem die Betätigungsleitung verläuft
- 7 Werkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Montagerahmen (11) über eine Positioniereinrichtung (10b) an dem Träger ankuppelbar ist
- 8 Werkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Halterung (21) und die Ausdrückeinrichtung (24, 29) auf dem Montagerahmen (11) schwenkbar und arretierbar ist
- 9 Werkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnung (36) des Abformgefäßes (32) einen hinterschnittenen Rand (35) hat
- 10 Werkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Abformgefäß auswechselbar ist
- 11 Werkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 10 mit einer Kartusche, die mit Vinyl-Polysiloxan gefüllt ist
- 12 Inspektionssystem (6) im Wasserbecken (1) eines Kernkraftwerks mit einer Kupplung für ein Werkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 11 und einer Fernbedienung zum Positionieren des Werkzeugs
- 13 Kombination des Inspektionssystems nach Anspruch 12 mit einer Brennelement-Lademaschine (3) zur Halterung eines Brennelements (5) im Wasserbecken (1).
- 14 Verfahren zum Inspizieren der Verschleißspuren

auf der Oberfläche eines Kernreaktor-Bauteils, wobei fernbedient ein Abformgefäß (32) auf die Oberfläche aufgesetzt und mittels einer in das Abformgefäß (32) eingedrückten Masse (40) ein Abdruck der Oberfläche gemacht und die Abformmasse ausgehärtet, aus dem Abformgefäß entfernt und mittels eines Mikroskops untersucht wird.

15 Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Masse in das Abformgefäß gedrückt wird, bis ein überschüssiger Teil der Masse aus einem Ausflußkanal (41) des Abformgefäßes (32) austritt

16 Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, wobei das Abformgefäß mittels einer Fernsehkamera (12) beobachtet wird

17 Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der aus dem Abformgefäß entfernte Abdruck in einem Elektronenmikroskop untersucht wird.

18 Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17, durchgeführt unter Wasser in einem Becken des Kraftwerks.

19 Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß Vinyl-Polysiloxan als Abformmasse verwendet wird

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

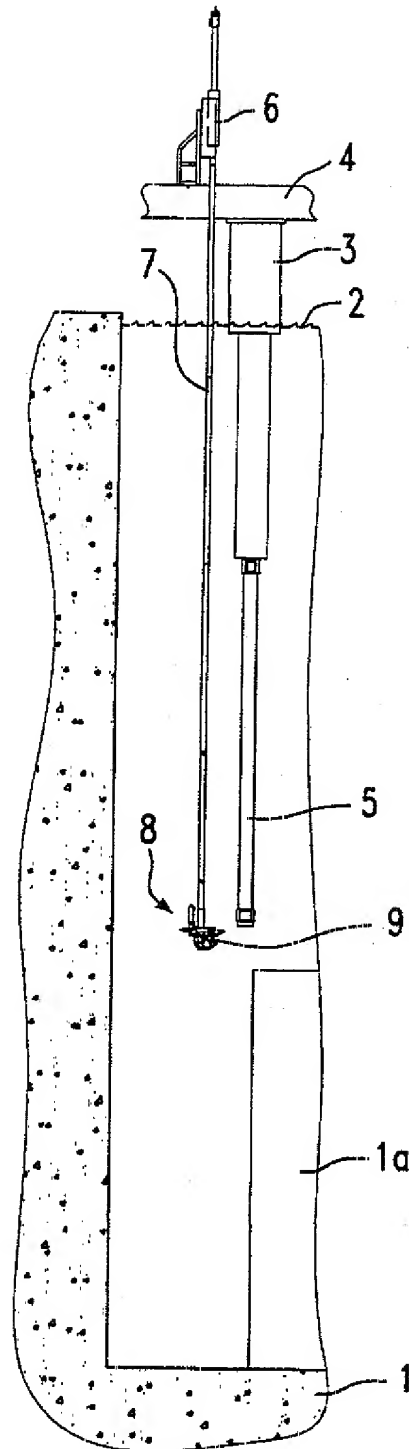


FIG 1

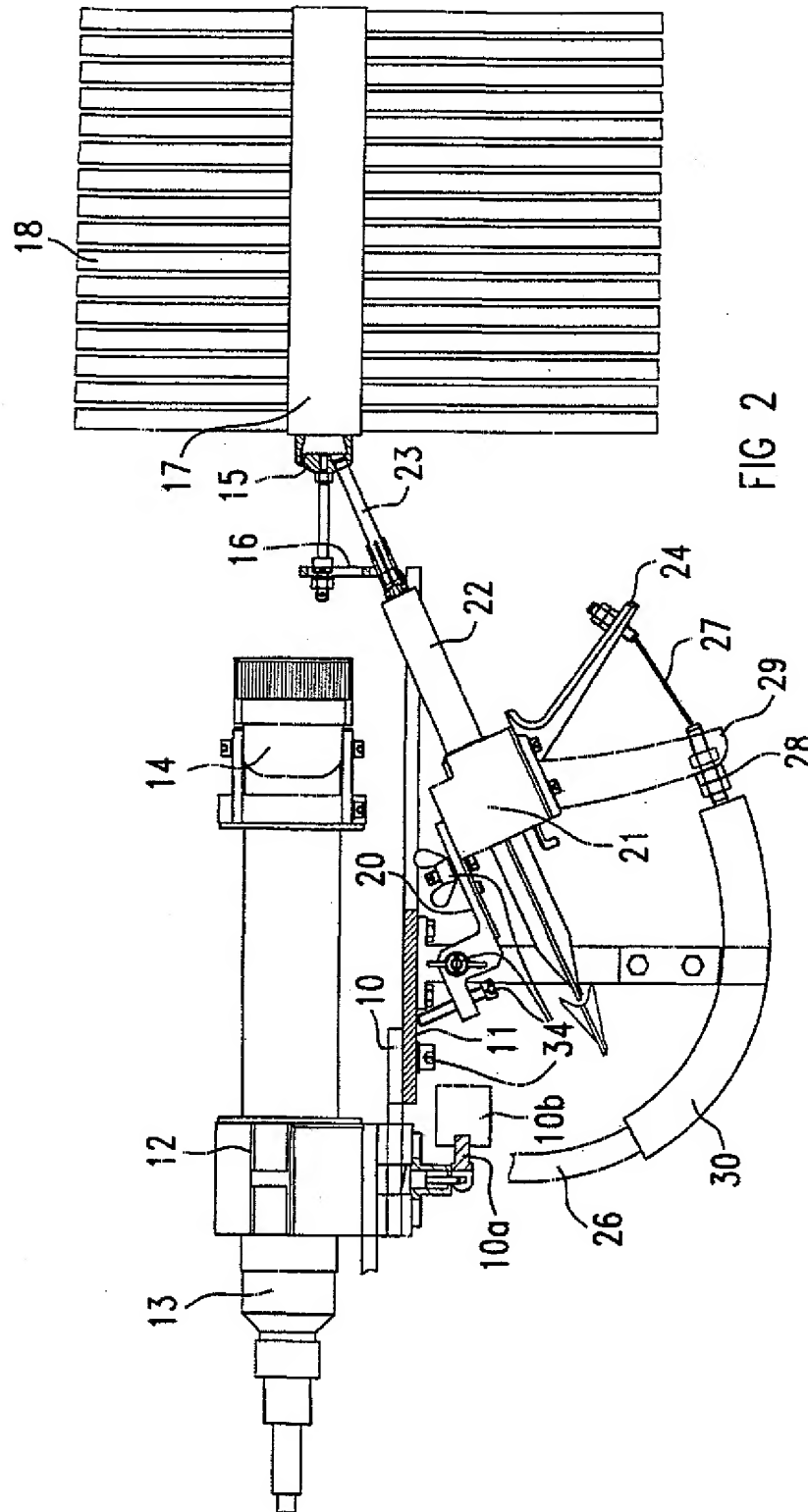


FIG 2

